

УДК 550.389

Погребной В.Н., Малосиева М.Т.  
Институт сейсмологии НАН КР  
г. Бишкек, Кыргызстан

## О ПРИЧИНЕ СЕЙСМОГЕННОСТИ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ СТРУКТУР

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос о сейсмогенности антиклинальных структур. Объяснена её причина – это перераспределение литостатического давления при формировании антиклиналей силами бокового горизонтального сжатия. Для условий Кыргызского Тянь-Шаня эта сила вызвана столкновением Индо-Австралийской и Евроазиатской литосферных плит. В этом случае в основании антиклиналей резко снижается литостатическое давление, что приводит к разрыву сплошности среды силами растяжения, вызывая землетрясение.

**Ключевые слова:** антиклинальные структуры, литостатическое давление, «взрывные» землетрясения, сжатие, растяжение, горные породы.

## АНТИКЛИНАЛДЫК ТҮЗҮЛҮШТӨРДҮН СЕЙСМОГЕНДҮҮЛҮК СЕБЕБИ ТУУРАЛУУ

**Кыскача мазмуну.** Макалада антиклиналдык түзүлүштөрдүн сейсмогендүүлүгү жөнүндө маселе каралган. Анын себеби түшүндүрүлгөн - бул антиклиналдарды калыптандыруу учурундагы литостатикалык басымдын каптал горизонталдык кысылуу күчтөрү менен кайра бөлүштүрүлүшү. Кыргыз Тянь-Шанынын шарттары үчүн бул күч Индия-Австралия жана Евразия литосфералык плиталарынын кагылышы менен пайда кылынган. Бул учурда антиклиналдардын негизинде литостатикалык басым кескин төмөндөйт, бул чөйрөнүн жер титирөөнү пайда кылуу менен керилүү күчтөрү менен тегиздиктин айрылуусуна алып келет.

**Негизги сөздөр:** антиклиналдык түзүлүштөр, литостатикалык басым, «жарылгыч» жер титирөөлөр, кысылуу, керилүү, тоо тектери.

## ABOUT THE REASON OF SEISMIC ACTIVITY OF ANTICLINAL STRUCTURES

**Abstract.** The problem of seismic activity of anticlinal structures is presented in the paper. The redistribution of lithostatic pressure during the anticlines formation by lateral horizontal compression is a reason of this one. For the Kyrgyz Tien Shan, this force is caused by the collision of the Indo-Australian and Eurasian lithospheric plates. In this case, the lithostatic pressure at the base of the anticlines is sharply reduced. This leads to rupture of the integrity of the medium by the forces of stretching and causes an earthquake.

**Keywords:** anticline structures, lithostatic pressure, explosive earthquakes, compression, tension, rocks.

Детальный анализ территориального распределения эпицентров землетрясений различной интенсивности как сильных  $K_p \geq 13.0$ , так и слабых  $K_p \geq 2.0$ , произошедших в многочисленных сейсмоактивных районах земного шара показал, что землетрясения происходят не только на разломах (общепринятое мнение [1]), но и на различных расстояниях от них. Так, за один только 2018 год на территории Кыргызского Тянь-Шаня произошло 7803 землетрясений с  $K_p \geq 2.0$ , эпицентры которых практически равномерно распределены по всей указанной территории, а не только вдоль разломов [2].

В связи с этим возникла необходимость поиска других (помимо разломов) сейсмогенных структурных форм для объяснения проявления многочисленных слабых землетрясений на территории Кыргызского Тянь-Шаня. Прежде всего отметим, что указанная территория входит в область интенсивного горообразования, которое началось примерно 12 млн. лет назад [3]. В результате Кыргызский Тянь-Шань сформировался как сложная в тектоническом отношении структура со своими специфическими особенностями. Остановимся на одной из них. На рисунке 1 представлена схема районирования по данным новейшей тектоники, составленная известным исследователем Тянь-Шаня профессором О.К. Чедия [4]. Из схемы видно, что вся территория Кыргызского Тянь-Шаня представляет собой последовательное чередование зон устойчивых новейших поднятий и зон устойчивых новейших прогибаний. По О.К. Чедия зоны устойчивых новейших поднятий состоят из складчатых структур типа антиклиналей: либо из одной складки (антиклиналь), либо из серии складок (мегаантиклиналь), а в сочетании с разрывами – из горст-антиклиналей. О.К. Чедия высказал мнение, что антиклинальные структуры могут быть сейсмогенными, но прямых доказательств их сейсмогенности не привел [4].

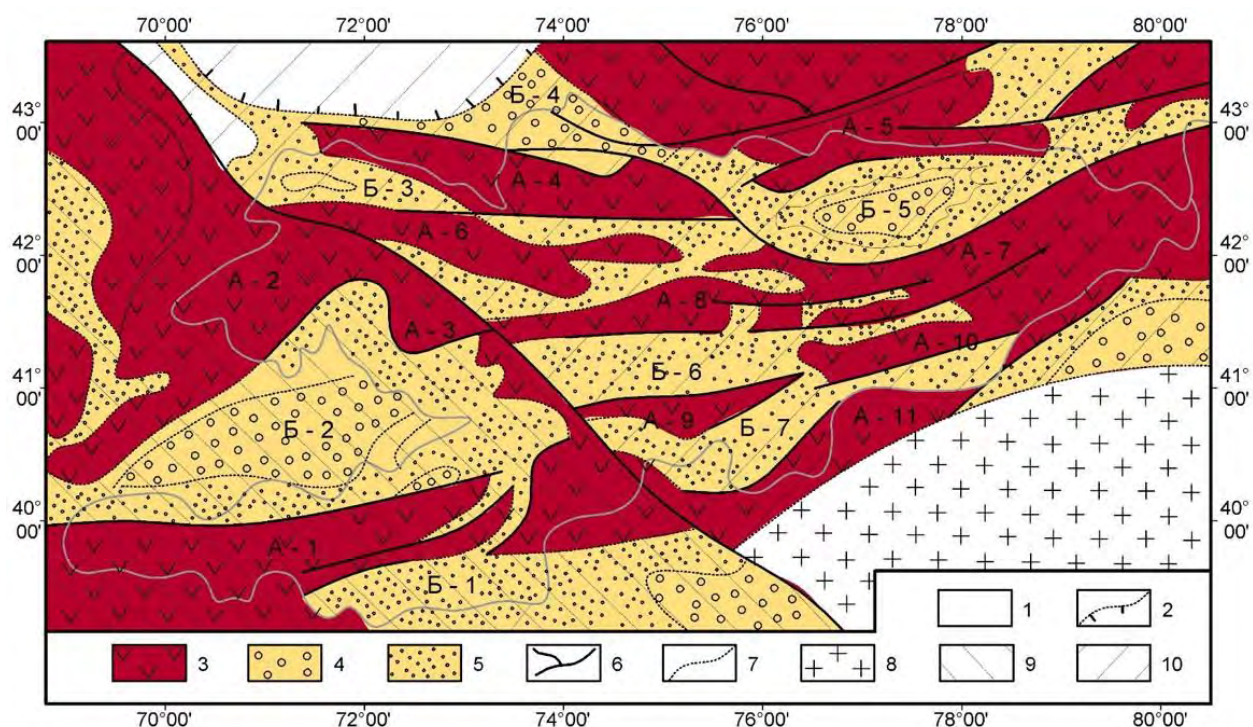


Рисунок 1. Схема районирования по данным новейшей тектоники по [4]. 1 – платформа, 2 – граница новейшего орогена, 3 – зоны устойчивых новейших поднятий (мегаантиклинали), 4 – зоны устойчивых новейших прогибаний (мегасинклинали), 5 – зоны неогеновых прогибаний, 6 – некоторые важнейшие разломы; 7 – границы новейших структурных зон, 8 – эппротерозойская платформа; 9 – эпигерцинская плита; 10 – эпигерцинский щит.

В этом плане доказательство сейсмогенной структуры антиклинали было осуществлено американскими сейсмологами Россом С. Стейном и Робертом С. Йетсом [5]. Детально исследуя одну из самых быстрорастущих складок – антиклиналь Вентура-Авеню вблизи Вентуры (штат Калифорния, США) (для наглядности снимок этой антиклинали приведён на рисунке 2), они обнаружили на крыле антиклинали девять террас,

прорезанных штормовыми волнами. Самая молодая из них поднята над уровнем моря на 2 м (возраст 1800 лет), а самая старая – на 20 м (возраст 5600 лет), то есть подъём террас происходил скачками в результате землетрясений, то есть антиклиналь Вентура-Авеню действительно является сейсмогенерирующей структурой. Второй пример, который приводят авторы [5], это произошедшее в 1983 году под антиклинальным кряжем Коалингское землетрясение (штат Калифорния) с  $M = 6.5$  на глубине  $\sim 10$  км. Оно явилось полной неожиданностью для сейсмологов, так как на поверхности антиклинального кряжа не было обнаружено ни одного видимого разлома. Разрывы происходили на глубине  $\sim 10$  км в ядре антиклинали. Интересен факт, что антиклинальный кряж во время землетрясения вырос на 75 см, то есть при своей высоте в 750 м он мог быть сформирован примерно тысячей землетрясений с  $M = 6-7$ , происходившими здесь последовательно каждые 1000-2000 лет. Подобные факты наблюдались и в других поясах активной складчатости земного шара: Индии, Новой Зеландии, Японии, Ираке, Северной части Африки, горах Малого Кавказа, Центральной Азии, в том числе в складчатых зонах Кыргызского Тянь-Шаня. Таким образом, можно сделать вывод, что антиклинальные складки могут быть сейсмогенерирующими структурами.

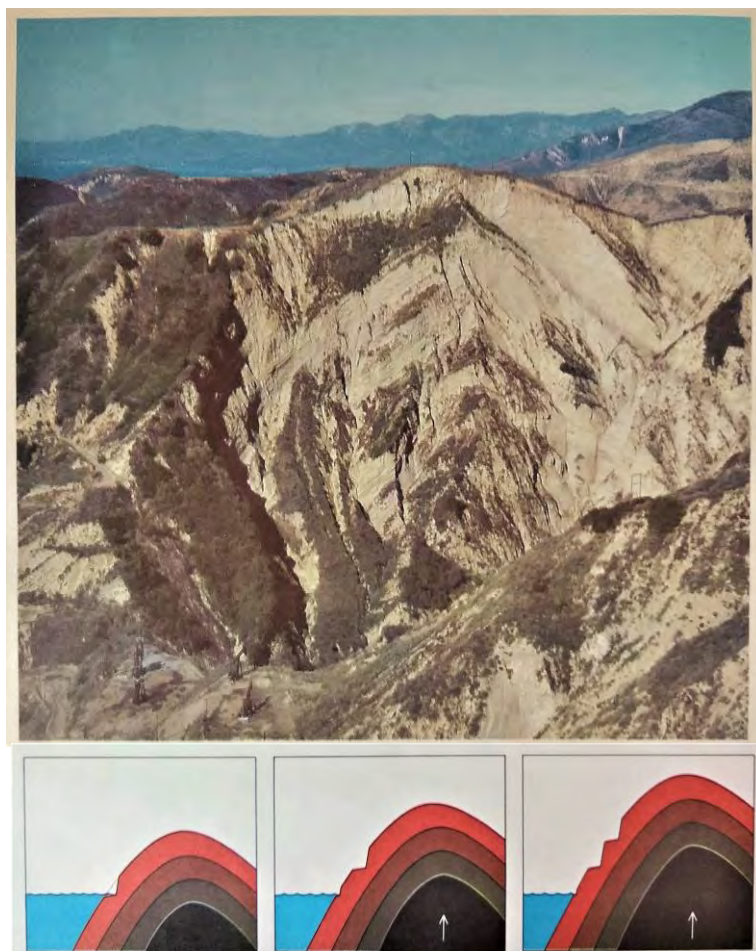


Рисунок 2. Антиклиналь Вентура-Авеню вблизи Вентуры (шт. Калифорния, США) по [5].

В предыдущей статье авторов [6] была предпринята попытка обосновать причину генерации очагов землетрясений в антиклинальных структурах – это



перераспределение литостатического давления в антиклинальных складках от начала их формирования и дальнейшего развития. Покажем это для наглядности на примере. Допустим, мы имеем пачку пластов земной коры, первоначально располагающихся параллельно друг другу в горизонтальной плоскости (рисунок 3). В этом случае сжимающая сила будет направлена вертикально вниз и может быть рассчитана как литостатическое давление. Если теперь на пачку таких слоев будет воздействовать горизонтальная сжимающая сила, то слои начнут деформироваться, образуя формы различной конфигурации, в том числе и антиклинальные структуры. Для условий Кыргызского Тянь-Шаня антиклинальные структуры сформированы под действием горизонтальной сжимающей силы меридионального направления, которая обусловлена столкновением Индо-Австралийской и Евразийской литосферных плит [7]. Эта сила по данным GPS действует и по настоящее время [8]. Из рисунка 3 видно, что при формировании антиклинали в её основании происходит резкое уменьшение литостатического давления, которое может стать причиной механических разрушений горных пород, вызывая землетрясения «взрывного» характера. Указанная причина основана на экспериментальных фактах, показавших, что сопротивление любого твёрдого материала или горной породы сжатию всегда больше сопротивления растяжению. Например, у базальта предел прочности на растяжение  $200 \text{ кгс/см}^2$ , а на сжатие –  $3000 \text{ кгс/см}^2$ , у гранита -  $150 \text{ кгс/см}^2$  и  $2000 \text{ кгс/см}^2$  соответственно, у мрамора- $100 \text{ кгс/см}^2$  и  $1200 \text{ кгс/см}^2$ , у известняка (среднеплотного) -  $70 \text{ кгс/см}^2$  и  $1000 \text{ кгс/см}^2$ , у песчаника (среднеплотного) -  $60 \text{ кгс/см}^2$  и  $900 \text{ кгс/см}^2$  [9]. Таким образом, прочность горной породы на сжатие в среднем в 10 раз превышает её прочность на растяжение. Поэтому, если литостатическое давление по своей величине приближается к пределу прочности горных пород, составляющих верхнюю часть земной коры (соответствуют глубинам от  $\sim 3 \text{ км}$  до  $\sim 20 \text{ км}$ ), то при снятии литостатического давления в основании антиклинальной структуры силы растяжения разрывают сплошность среды на части, вызывая землетрясения.

Описанный эффект достоверно проявился при проходке Кольской сверхглубокой скважины, где, судя по опубликованным данным, радиальное сочленение ствола скважины увеличивалось в 3 - 3.5 раза сразу же после вскрытия массива горных пород, т.е. после снятия литостатической нагрузки. По этой же причине разрушался керн, выбуренный из массива на большой глубине. В связи с этим было изготовлено специальное приспособление для его сохранения [10]. Уместно отметить, что на этом же принципе (сжатие-растяжение) было разработано и внедрено в производство устройство для непрерывного тонкого измельчения твёрдых веществ [11]. Более крупные масштабы разрушения твёрдых горных пород при снятии нагрузки могут приводить к горным ударам и землетрясениям. Уместно отметить, что  $\sim 15\%$  от общего числа зарегистрированных землетрясений на территории Кыргызского Тянь-Шаня носят «взрывной» характер [12].

Таким образом, показано, что причина сейсмогенности антиклинальных структур – это перераспределение литостатического давления при формировании антиклиналей силами бокового горизонтального сжатия. В этом случае в основании антиклиналей резко уменьшается литостатическое давление, что приводит к разрывам сплошности среды силами растяжения, то есть к землетрясениям.

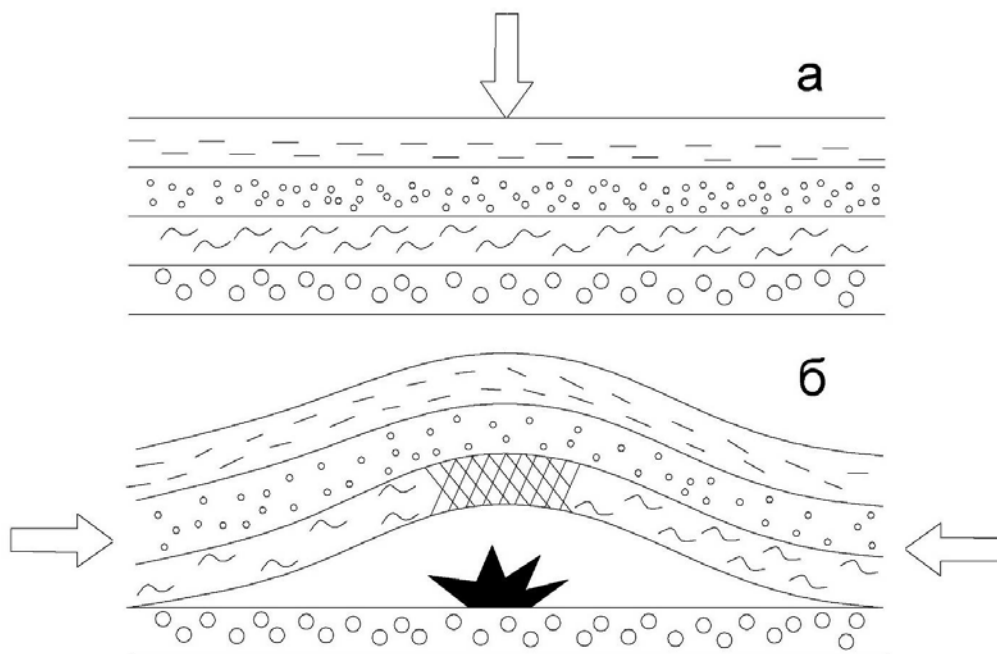
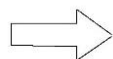


Рисунок 3 (а, б). Пример преобразования горизонтальных слоев: (а) в сводовую (антиклинальную) структуру; (б) при изменении направления сжимающей силы.



направление сжимающей силы;



область «схлопывания» (уменьшение объёма горной массы);



область «взрыва» (увеличение объёма горной массы).

### Литература

1. Губин И.Е. Закон сеймотектоники и его значение. // ДАН СССР., 1982. Т. 265. № 5. С. 1216-1219.
2. Отчёт о научно-производственной деятельности Центра обработки данных ИС НАН КР за 2018 г. Фонды ИС НАН КР.
3. Абдрахматов К.Е. Внутриконтинентальное горообразование и сейсмическая опасность (на примере Тянь-Шаня). // Бишкек. «Инсанат». 2013. 120 с.
4. Чедия О.К. Новейшая тектоника Киргизии и сейсмогенные структурные формы. // Сб. «Сеймотектоника некоторых районов Юга СССР» под редакцией И.Е. Губина. М.: Наука. 1976. С. 118-129.
5. Росс С. Стейн, Роберт С. Йетс. Скрытые землетрясения. // «В мире науки» под редакцией С.П. Капицы. М.: Мир. 1989. №8. С. 18-28.
6. Погребной В.Н., Малосиева М.Т. Возможная причина проявлений очагов землетрясений «взрывного» типа. // Сб. докладов 7-го Международного симпозиума «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Бишкек, 19-24 июня 2017г. Бишкек. ИС РАН. 2018. С. 404-408.
7. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effects continental collision. // Science. 1975. №189.

8. Костюк А.Д. Современные движения земной коры на территории Центральной Азии. // Вестник КРСУ. 2011. Т. 11. №4. С. 135-140.
9. Ярошевский В. Тектоника разрывов и складок. М.: Недра. 1981. 245 с.
10. Козловский Е.А. Новое о строении земной коры. М.: Знание. 1988. 48 с.
11. Белоцерковский А.М., Примислер В.Б. Устройство для тонкого измельчения материалов (описание изобретения к авторскому свидетельству 326980). // Гос. Комитет СССР по делам изобретений и открытий. Бюллетень №5, 1972.
12. Кальметьева З.А. Опыт изучения характеристик слабых землетрясений в связи с тектоническим строением. // Изв. АН Кирг. ССР. Фрунзе: Илим. 1980. №1. С. 9-16.

*Рецензент: к.ф.-м.н. Фролова А.Г.*